



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# NÁVRH PRACOVIŠTĚ OBRÁBĚNÍ HŘÍDELÍ ELEKTROMOTORŮ

WORKPLACE DESIGN FOR MACHINING OF MOTOR SHAFTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MARTIN KNOBLOCH

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV PÍŠKA, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/14

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Martin Knobloch

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Návrh pracoviště obrábění hřídelí elektromotorů**

v anglickém jazyce:

### **Workplace design for machining of motor shafts**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh pracoviště obrábění hřídelí elektromotorů, kapacitní propočty, optimalizace výrobní produkce

Cíle bakalářské práce:

Úvod

Teoretický rozbor problému

Variantní návrh pracoviště obrábění hřídelí elektromotorů

Kapacitní propočty, optimalizace výrobní produkce

Závěry, doporučení pro praxi

Seznam odborné literatury:

NOVOTNÝ K., PÍŠKA M.: SPECIÁLNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY, sylabus

<http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/SpecTechnologieVyroby.pdf>

HUMÁR A.: TECHNOLOGIE MONTÁŽE, sylabus

<http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnMontaze.pdf>

ZEMČÍK O.: TECHNOLOGICKÉ PROCESY, část obrábění, učební texty kombinovaného bakalářského studia

<http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnProcesy.pdf>

ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o. 2002. 158s. ISBN 80-214-2219-X.

ZEMČÍK, O. Projektování výrobních procesů I. 2. vyd. Brno: VUTIUM, VUT v Brně. 1990. 162 s. ISBN 80-214-0151-6.

HUMÁR A.: TECHNOLOGIE I, sylabus

<http://www.fme.vutbr.cz/opory/>

KOCMAN K., PROKOP J.: TECHNOLOGIE VÝROBY II, sylabus

[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnVyroby\\_II.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnVyroby_II.pdf)

PÍŠKA M.: TECHNOLOGIE VÝROBY II, interaktivní text

<http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/ust/Tech.v2.pdf>

HUMÁR: VÝROBNÍ TECHNOLOGIE II, sylabus


[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobnTechnologie\\_II.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobnTechnologie_II.pdf)

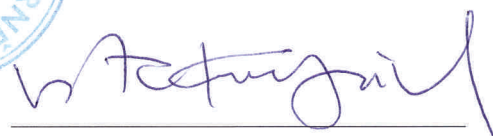
Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 20.11.2013



  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

## **ABSTRAKT**

Cílem práce na téma „Návrh pracoviště obrábění hřídelí elektromotorů“ je zavedení nové technologie do výroby hřídelí v odštěpném závodě Siemens s.r.o., o.z. Elektromotory Mohelnice. Na začátku je popsána teorie přípravy výroby a metody vedoucí ke stanovení nejvhodnější metody výroby a její zavedení do praxe. V další kapitole se práce zaměřuje na popis stávajícího procesu a vyhodnocení největších úskalí procesu. Následuje variantní návrh nového pracoviště včetně posouzení z hlediska technologie výroby. V závěru se práce věnuje ekonomickému zhodnocení návratnosti investice a doporučení vhodnější varianty.

## **ABSTRACT**

The main goal of this bachelor's thesis „Workplace design for machining of motor shafts“ is setting a new technology of machining shafts in the Siemens s.r.o., o.z. Elektromotory Mohelnice. At the beginning a theory of production preparation is described and the nowadays methods of production. In the next part of the work the present production and evaluations of most critical spots are described. Two proposals of the new workplace are offered. In the end of bachelor work the economical aspects of the new workplace are considered.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Příprava výroby, obrábění hřídelí, pracovní proces

## **KEYWORDS**

Production preparation, machining shafts, working process

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KNOBLOCH, M. *Návrh pracoviště obrábění hřídelí elektromotorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 33 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh pracoviště obrábění hřídelí elektromotorů vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 14. května 2014

---

Martin Knobloch

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky při vypracování bakalářské práce a panu Vlastimilu Hubinkovi a Lumíru Mackovi z firmy Siemens, s.r.o, Elektromotory Mohelnice za poskytnuté informace o interních procesech plánování výroby. V neposlední řadě děkuji také své rodině, která mě podporuje v průběhu celého studia.

## OBSAH

ÚVOD.....	8
1 TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY .....	9
1.1 Postup při sestavení návrhů.....	9
1.1.1 Diagnostika stávajícího procesu .....	9
1.1.2 Shromáždění vstupních dat.....	9
1.1.3 Analýza získaných vstupů .....	10
1.1.4 Návrh nové výroby.....	10
1.1.5 Ekonomické zhodnocení návrhů.....	10
1.2 Prostorové uspořádání pracovišť .....	10
1.2.1 Technologické uspořádání pracovišť.....	10
1.2.2 Předmětné uspořádání pracovišť .....	11
1.2.3 Modulární uspořádání pracovišť .....	11
1.2.4 Buňkové uspořádání pracovišť .....	11
1.2.5 Kombinované uspořádání pracovišť .....	12
1.3 Popis částí elektromotoru.....	12
1.3.1 Stator.....	12
1.3.2 Rotor.....	12
2 ANALÝZA SOUČASNÉHO PROCESU VÝROBY.....	14
2.1 Popis procesu .....	14
2.1.1 Dělení tyčí .....	14
2.1.2 Vrtání a zarovnávání čel.....	14
2.1.3 Soustružení a frézování.....	15
2.1.4 Broušení .....	16
2.2 Analýza pohybu materiálu.....	17



2.3	Shrnutí stávajícího procesu.....	17
3	VARIANTNÍ NÁVRH NOVÉHO PRACOVIŠTĚ.....	19
3.1	Cíle modernizace .....	19
3.2	Popis navrhované technologie – varianta A.....	19
3.2.1	Popis pracovního cyklu.....	21
3.2.2	Kapacitní výpočet .....	22
3.3.3	Výhody .....	25
3.3.4	Nevýhody .....	25
3.3.5	Dispoziční řešení .....	25
4	FINANČNÍ ZHODNOCENÍ VARIANT .....	26
4.1	Varianta A .....	26
4.1.1	Výše investice.....	26
4.1.2	Vyčíslení úspor .....	26
4.1.3	Harmonogram investice.....	27
4.2	Varianta B .....	28
4.2.1	Výše investice.....	28
4.2.2	Vyčíslení úspor .....	29
4.2.3	Harmonogram investice.....	30
	ZÁVĚR .....	31
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	32
	SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ .....	33

## ÚVOD

Elektromotor je stroj, který přeměňuje elektrickou energii na mechanickou práci. V současnosti nejčastěji nacházejí uplatnění rotační elektromotory pracující na principu elektromagnetické indukce.

Siemens s.r.o., odštěpný závod Elektromotory Mohelnice patří mezi přední světové dodavatele nízkonapěťových asynchronních elektromotorů. Hlavními zákazníky jsou výrobci čerpadel, klimatizací a kompresorů [1]. V současnosti se závod zaměřuje zejména na výrobu elektromotorů ve speciálních zákaznických provedení v osových výškách 56 – 200 mm.

Za posledních 20 let došlo v mohelnickém závodě k významným změnám v celém procesu od objednání motoru zákazníkem po jeho dodání. Motory již nejsou vyráběny v několika základních provedeních jako skladové zásoby, ale v několika desítkách tisíc provedení, vždy až na základě potvrzené objednávky zákazníkem. Současně s růstem počtu provedení klesá sériovost výroby a v Mohelnici dominuje téměř kusová výroba provedení na základě požadavků zákazníků. Dalším úskalím jsou také značné výkyvy v poptávce po motorech, kdy je nutné i při vysokém objemu dodávek udržet nastavené dodací lhůty.

Tato práce předkládá dvě varianty nového způsobu výroby hřídelí elektromotorů a jejich ekonomické zhodnocení.



Obr. 1 Siemens s.r.o., o. z. Elektromotory Mohelnice.

# 1 TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY

Technologická příprava je jedna ze základních činností v podniku, která zajišťuje vlastní výrobní činnost. Základem je hledání optimální konstrukce výrobku, optimální technologické metody, optimální úrovně výrobních zařízení, vybavení a jejich automatizace, struktury a úrovně celého výrobního systému a to při různých výrobních podmínkách [1].

## 1.1 Postup při sestavení návrhů

V praxi se nejčastěji setkáváme s úpravou stávající výroby. Při projektování je důležité použít správnou metodiku. Při projektování postupujeme:

- diagnostika stávajícího procesu,
- shromáždění vstupních dat,
- analýza získaných vstupů,
- návrh nové výroby,
- ekonomické zhodnocení návrhů,
- realizace nejvhodnější varianty,
- ověření ekonomiky v testovacím období.

### 1.1.1 Diagnostika stávajícího procesu

Jde o prvotní seznámení s danou problematikou. Orientační průzkum je prováděn zpravidla nejzkušenějšími pracovníky, kteří jsou znalí vzájemných závislostí jevů a jejich původů [2].

### 1.1.2 Shromáždění vstupních dat

Probíhá zejména z evidence nebo pozorováním. Hlavním předmětem této fáze je naleznout slabá místa současné výroby a zjistit informace o materiálových tocích.

### 1.1.3 Analýza získaných vstupů

Veškeré informace získané diagnostikou a shromážděním z evidence je nutné náležitě vyhodnotit. Na základě rozborů získáme možné varianty řešení.

### 1.1.4 Návrh nové výroby

Na základě provedených rozborů v předchozím kroku vznikají variantní návrhy nové výroby. Součástí návrhu je technologické zhodnocení a ekonomická rozvaha posuzující velikost a přínosy investice. Dalším důležitou součástí je také časový plán realizace projektu.

### 1.1.5 Ekonomické zhodnocení návrhů

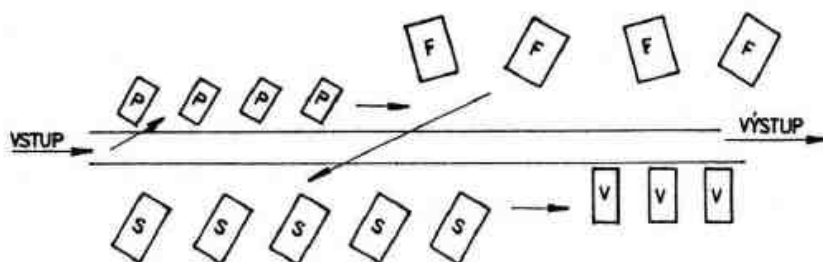
Zásadní motivací při plánování nové výroby nebo modernizaci stávající, je tvorba kapitálu. Tvorba kapitálu musí odpovídat výši počáteční investice, v současnosti se investice považuje za smysluplnou při návratnosti do 6 let.

## 1.2 Prostorové uspořádání pracovišť

Prostorová struktura výroby závisí na typu výroby, opakovatelnosti a stupni specializace pracoviště. Prostorové uspořádání má značný vliv na celkovou efektivitu výroby a tím pádem také na cenu výrobku.

### 1.2.1 Technologické uspořádání pracovišť

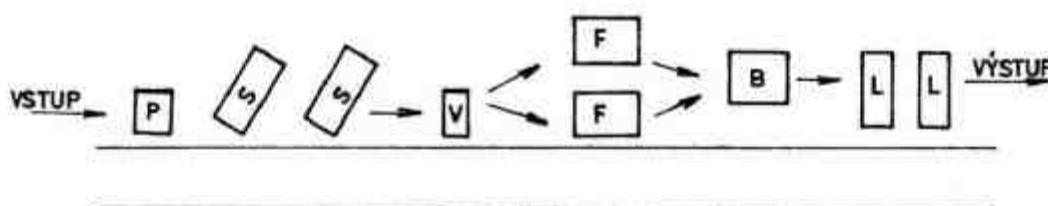
Technologické uspořádání je seskupení pracovišť na základě příbuznosti výrobních zařízení. Výrobní materiál přechází při výrobě mezi jednotlivými skupinami strojů tak, jak je dán jeho postup výroby. Je nejčastěji používán při kusové výrobě, kde není možné jednoznačně určit směr materiálového toku [3]. Nákres toku materiálu je zobrazen na obrázku číslo 2.



Obr. 2 Technologické uspořádání pracovišť [3].

### 1.2.2 Předmětné uspořádání pracovišť

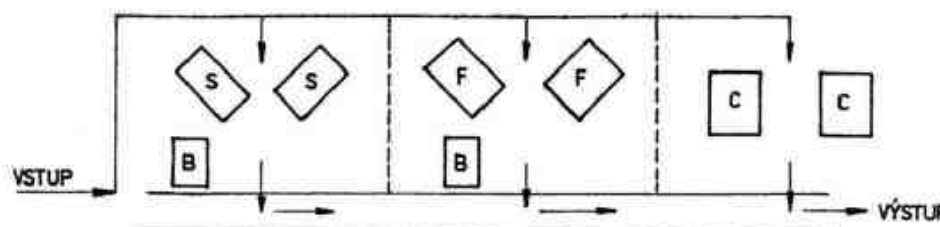
Předmětné uspořádání je seskupení pracovišť podle charakteristických znaků pracovního předmětu. Pracovní předmět (výrobek) prochází plynule jednotlivými pracovišti, které jsou uspořádány přesně podle výrobního postupu od první do poslední operace na výrobku. Používané u sériové nebo hromadné výroby [3].



Obr. 3 Předmětné uspořádání pracovišť [3].

### 1.2.3 Modulární uspořádání pracovišť

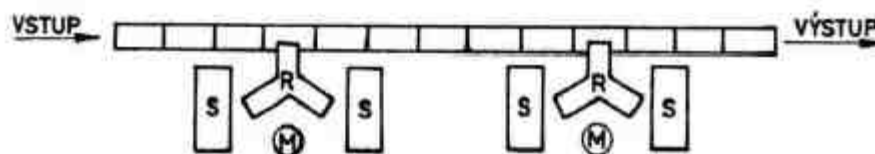
Modulární uspořádání je seskupení stejných technologických bloků, kde každý plní více technologických funkcí. Proces je zobrazen na obrázku číslo 4. Provoz je složen z podobných nebo stejných modulů. Hlavním přínosem modulárního uspořádání je vyšší produktivita, což vede k častému využití v praxi [3].



Obr. 4 Modulární uspořádání pracovišť [3].

### 1.2.4 Buňkové uspořádání pracovišť

Buňkové uspořádání je obvykle tvořeno vysoce produktivním strojem s mechanizovaným nebo automatizovaným okolím (robot, zásobníky, automatizovaná operační a mezioperační manipulace), např. automatizované výrobní systémy [3].



Obr. 5 Buňkové uspořádání pracovišť [3].

### 1.2.5 Kombinované uspořádání pracovišť

Kombinované uspořádání využívá vhodné kombinace uspořádání pracovišť, kde není možné využít je jeden způsob uspořádání. Nejčastěji se jedná o kombinaci technologického a předmětného uspořádání, využívaného např. v mechanicko-montážních provozech [3].

## 1.3 Popis částí elektromotoru

Elektromotory jsou děleny podle vstupního proudu na stejnosměrné a asynchronní (indukční). Asynchronní motor se skládá ze dvou základních aktivních částí:

- stator,
- rotor.

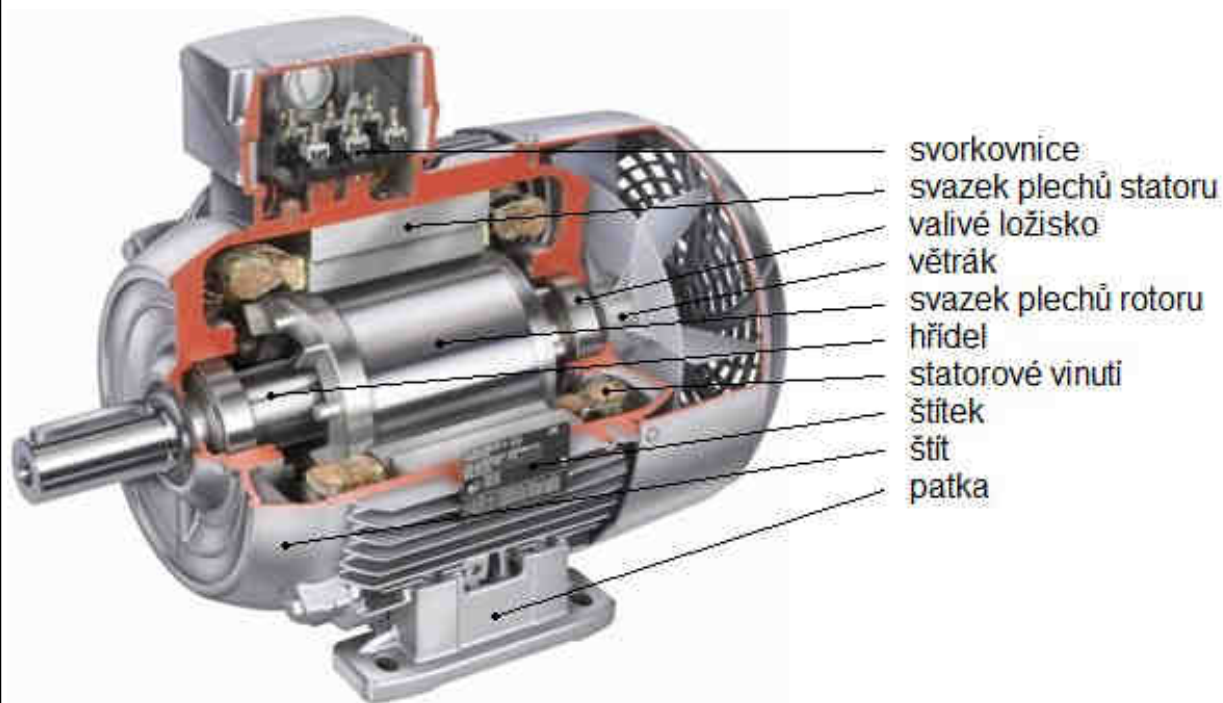
### 1.3.1 Stator

Stator je stabilní, netočivá část motoru složená z kostry a vinutí. Kostra je složena z lisovaných plechů, které jsou naskládány za sebou a upevněny nalisovanými sponami. Do vzniklé drážky je vloženo vinutí, které je izolováno od kostry drážkovou izolací a impregnačním lakem.

### 1.3.2 Rotor

Rotor je točivá část motoru, složená z hřídele a svazku. Svazek je složen s nalisovaných plechů, jejichž drážky jsou vůči sobě mírně pootočený. Do vzniklé drážky je pod tlakem vstříknut hliník. Celý svazek rotoru je nalisován na hřídeli, která je pomocí dvou ložisek a štítů uložena ve statoru motoru.

Velikost motoru je rozlišována na základě osové výšky AH. Osová výška je tečná vzdálenost osy rotoru od patky motoru.



Obr. 6 Řez asynchronním motorem Siemens [6].

## 2 ANALÝZA SOUČASNÉHO PROCESU VÝROBY

### 2.1 Popis procesu

Vstupním polotovarem procesu je nakupovaná tyč, výstupním je obrobená hřídel, připravená pro zalisování do svazku rotoru. Hřídele jsou v současné době obráběny třískovým obráběním na soustruzích a frézkách. V závodě se rozlišují hřídele na malou (do AH90) a velkou (do AH200) osovou výšku. Průměry polotovaru pro velké osově výšky činí 30 – 75 mm a v současné době existuje přibližně 5 tisíc aktivních provedení hřídelí.

#### 2.1.1 Dělení tyčí

Do závodu jsou nakupovány tyče o délce 6 m, přibližně z 80% zastoupeny materiálem E335. Po přejímce jsou tyče na základě zakázkového listu děleny pomocí pásové pily TMJ pp 361HU s přesností  $\pm 1$  mm.



Obr. 7 Pásová pila TMJ pp 361HU.

#### 2.1.2 Vrtání a zarovnávání čel

Nařezané tyče jsou poté přemístěny na CNC pracoviště vrtání a zarovnávání. První operací je zarovnání čela s přesností dle konstrukční požadavků a poté navrtání středících důlků. V další operaci poté následuje



vtřání závitů na základě provedení z jedné nebo z obou stran. Závity jsou vyvrtány včetně zahloubení, aby nebyl poškozen závit při upínání během následného obrábění. Zarovnané tyče jsou poté přemístěny na obrobnu.



Obr. 8 Zarovnávací centrum CZ.TECH ZAH 620 CNC.

### 2.1.3 Soustružení a frézování

Tyče jsou po vrtání distribuovány k pracovištím na obrobne dle průměru a provedení. Každé pracoviště má uspořádání dva soustruhy a frézka. Hřídele jsou dle délky soustruženy na jedno nebo na dvě upnutí. Válcové plochy, s požadavkem na vyšší jakost povrchu, se obrábí soustružením s přídavkem  $0,2_0^{+0,1}$  mm pro broušení.



Obr. 9 Pracoviště obrábění v uspořádání dva soustruhy a frézka.

#### 2.1.4 Broušení

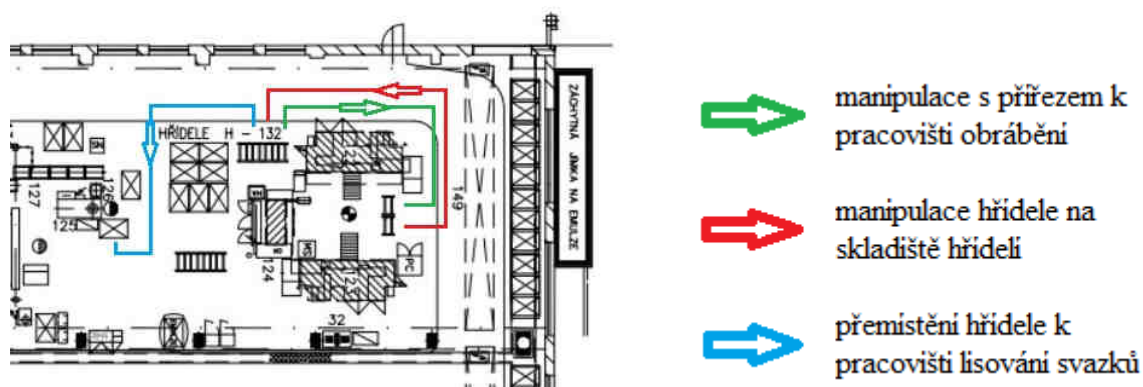
Válcové plochy, s požadavkem na vyšší jakost povrchu (ložisko, těsnící kroužek), jsou broušeny na bruskách Junker EJ30 na finální drsnost povrchu  $R_z 4 \mu\text{m}^1$ . Brousit je možné více průměrů na jeden zápch pomocí orovnávaní brusného kotouče diamantovým nástrojem (60–120 mm šířka kotouče). Orovnávaní se používá pouze při malých rozdílech broušených průměrů ložisko-těsnící kroužek. Minimální hodnota nosného podílu plochy  $R_{mr}$  činí 65%.



Obr. 10 Bruska Erwin Junker BUAJ 30 CNC.

## 2.2 Analýza pohybu materiálu

V současném procesu je vysoký podíl manipulace s materiálem z důvodu nevhodného uspořádání pracovišť. Nutné přemísťování prodlužuje celkovou délku výroby a zvyšuje pravděpodobnost nehody při manipulaci. Celkový tok je zobrazen na obrázku 11.



Obr. 11 Tok materiálu mezi pracovištěm obrábění a lisování svazků.

## 2.3 Shrnutí stávajícího procesu

Současný stav se vyznačuje celkově zastaralou technologií, která již nevyhovuje požadavkům na moderní a štíhlou výrobu. Mezi hlavní úskalí patří:

- nutnost broušení válcových ploch pod ložisky a těsníci kroužky,
- nelze soustružit konstantní řeznou rychlostí,
- časově náročné seřizování,
- vzhledem k zastaralému upínacímu systému nelze použít progresivní řezné podmínky z důvodu jak tuhosti upnutí, tak nedostatečného chlazení. Při pracovním cyklu vzniká velké házení hřídele a v mezních případech je nutné přistoupit k výrobě na dvě upnutí,
- časově i finančně náročné zavádění nových programů – každé nové provedení je nutné ověřit technologem, při ověřování programů vznikají zmetky, programy se do stroje složitě ukládají a poté obtížně editují,

- nedostačující ergonomie pracoviště vůči současným technologickým trendům,
- nutnost manuálně ověřovat rozměry a ručně upravovat korekce opotřebení nástroje,
- poruchovost – ekologická zátěž (úniky oleje), časté výměny ložisek, výpadky při výrobě,
- různé typy výrobních strojů - nemožnost pružně reagovat na proměnlivou vytíženost jednotlivých osových výšek,
- osová výška AH160-200 je vyráběna v kooperaci – delší dodací lhůty, menší pružnost výroby, vyšší cena.

- 1)  $R_z$  – Parametr drsnosti povrchu definován jako součet výšky  $Y_p$  největšího výstupku profilu a hloubky  $Y_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. Za značkou následuje číselný údaj v  $\mu\text{m}$ . Grafické znázornění je zobrazeno na obrázku číslo 12.

$$R_z = Y_p + Y_v$$



Obr. 12 Parametr drsnosti  $R_z$  [7].

### 3 VARIANTNÍ NÁVRH NOVÉHO PRACOVISTĚ

#### 3.1 Cíle modernizace

Cílem modernizace je zejména zefektivnit výrobu hřídelí v o.z. Elektromotory Mohelnice. Toho plánuji dosáhnout zejména pomocí:

- snížení počtu pracovišť a tím také počtu obsluhy,
- snížení režijních nákladů na opravy a zmetky,
- zmenšení výrobní plochy čímž se sníží náklady na vytápění,
- použití progresivního obrábění,
- snížení technologicky nutných ztrát,
- zjednodušení zavádění nových provedení do výroby,
- sjednocení výrobních strojů což zvýší pružnost výroby,
- přesunutí výroby hřídelí v kooperaci do mateřského závodu,
- zkrácení průběžné doby výroby a tím zkrácení dodacího termínu koncovému zákazníkovi.

#### 3.2 Popis navrhované technologie – varianta A

Navrhovanou technologií je vertikální obráběcí centrum EMAG VTC 250 DUO. Stroj je vybaven dvěma svislými vřeteny a 3 revolverovými hlavami. Další technické specifikace jsou uvedeny v tabulce číslo 1. Pracovní prostor se dělí na 2 části podle prováděných operací na: zarovnávání a navrtávání, hrubování, dokončování a frézování. Stroj obsahuje zásobník na polotovary a na hotové hřídele. Pohyb mezi těmito zásobníky je plně automatizován. Vstupním polotovarem bude nakupovaný, nahrubo nadělený přířez. Kompletním zrušením jedné výrobní haly, kde jsou nyní pracoviště dělení hřídelí a zarovnávání a vrtání, ušetřím značné režijní náklady na výrobní plochu, energie a mzdové náklady.

Tab. 1 Technické parametry obráběcího centra EMAG.

Technické parametry	
Průměr sklíčidla	250 mm
Průměr obrobku	140 mm
Délka v X / ZX / Z	300 mm
Maximální délka obrobku	630 mm
Maximální hmotnost obrobku	20 kg
Upínací čas	4,6 s
Vřeteno	
Počet	2 (možnost navýšení)
Hlava vřetena	DIN 55 026 velikost 6
Ložiska vřetena - čelní průměr	110 mm
Maximální otáčky	5000 ot/min
Výkon	
Výkon při zatížení	40 /100 % kW
Rychloposuv X/Z	30/40 m/min
Upínací síla	9,4/10 kN
Průměr kuličkového šroubu	32/40 mm

### 3.2.1 Popis pracovního cyklu



Obr. 13 EMAG VTC 250 DUO [8].

1. Polotovar je odebrán ze zásobníku polotovarů a pomocí revolverové hlavy A1 upnut do kleštinového upínání C1.
2. Čela polotovaru jsou zarovnána a jsou vyvrtány středící důlky. Pokud se jedná o provedení se závitem, následuje vrtání závitů. Poté je hřídel pomocí podavače A2 přesunuta do prostoru soustružení a upnuta mezi čelní unašeče C2.
3. V prostoru soustružení jsou provedeny hrubovací a poté dokončovací operace. Následně jsou vyfrézovány drážky pro pera.
4. Po kompletním obrobení je hřídel přesunuta do zásobníku hotových hřídelí pomocí hlavy A3.
5. Stroj pracuje v krocích. Jakmile je první kus série umístěn do unašečů C2, hlava A1 odebírá další přířez. Operace soustružení a zarovnávání probíhají současně na 2 hřídelích.

### 3.2.2 Kapacitní výpočet

Maximální kapacitu počítám pro nepřetržitý provoz ve 3 směnách viz. tabulka číslo 2.

Tab. 2 Kapacita jednoho stroje.

Kapacita jednoho stroje	
Hřídele	
Pracovních dnů	253
Směn	3
Hodin za směnu	7,5
% ztráty	30%
<b>Kapacita [h]</b>	<b>4251</b>

Pro zjednodušení při výpočtu rozdělím hřídele dle obráběcího času na katalogové a abnormality. Tabulka číslo 3 uvádí procentuální zastoupení katalogových motorů a abnormalit.

Tab. 3 Výpočet počtu strojů varianta A.

	AH100	AH112	AH132 DO	AH160 DO	AH180-200 DO
Celkový počet kusů	139 938	115 576	157 516	95 690	4 548
Takt - katalogové [min]	2,62	2,68	3,19	3,07	4,80
Takt - abnormality [min]	2,62	2,68	3,19	5,00	5,59
Katalogové [%]	1,00	1,00	1,00	0,85	0,85
Abnormality [%]	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15
Kusy - katalogové	139 938	115 576	157 516	81 337	38 661
Kusy - abnormality	0	0	0	14 354	6 822
Seřízení [min/směna]	45	45	45	45	45
Celkový čas [min]	366 638	309 745	502 475	321 471	223 708
Přirážka k seřízení [%]	30	30	30	30	30
Max kapacita [h]	34 665	28 630	39 020	102 513	48 726
Délka procesu [h]	6 111	5 126	8 375	5 358	3 728
<b>Strojů</b>	<b>1,26</b>	<b>1,06</b>	<b>1,72</b>	<b>1,1</b>	<b>0,77</b>
<b>Směn</b>	<b>3,77</b>	<b>3,18</b>	<b>5,16</b>	<b>3,3</b>	<b>2,3</b>
<b>Strojů celkem</b>	<b>4,04</b>			<b>1,87</b>	
<b>Strojů ke koupi</b>	<b>4</b>			<b>1</b>	
	<b>Směn celkem 12,11</b>			<b>Směn celkem 5,6</b>	
	<b>Maximální kapacita 409 261,4 ks</b>			<b>Maximální kapacita 151 239 ks</b>	
	<b>Potřebná kapacita 413 030 ks</b>			<b>Potřebná kapacita 141 173 ks</b>	
	<b>Využitá kapacita 100,92%</b>			<b>Využitá kapacita 93,34%</b>	



Ačkoliv jsem u skupiny hřídelí AH100-132 vypočítal využitou kapacitu větší než 100%, nebudu navyšovat počet strojů ke koupi. V případě potřeby bude možné přesunout část výroby do skupiny AH160-200, kde máme kapacitní rezervu, protože všechny stroje budou shodného typu.

### 3.2.3 Výhody

- Celý proces od odebrání polotovaru ze zásobníku polotovarů do předání do zásobníku hotových hřídelí je kompletně automatizovaný.
- Odpadá manipulace mezi čtyřmi pracovišti.
- Použití progresivních řezných podmínek, úspora strojního času.
- Odpadá nutnost operace broušení, stroj je schopen obráběním dosáhnout požadované drsnosti povrchu  $R_z 4 \mu\text{m}$ .
- Stroj je vybaven měřícím zařízením se zpětnou vazbou, seřizování a korekce opotřebení nástroje probíhá automaticky.
- Stroj je napojen přímo na DNC síť. Správa programů je umožněna vzdáleně přes počítač.
- Hřídele velké osově výšky budou vyráběny na stejném typu stroje. Lze pružně optimalizovat vytížení jednotlivých pracovišť.
- Úspora času THP
- Úspora režijních nákladů za výrobní plochu

### 3.2.4 Nevýhody

- Vyšší nároky na operátory CNC
- Vysoká investice

## 3.3 Popis navrhované technologie – varianta B

Druhou variantou je rozložení pracoviště jeden soustruh a jedna frézka. Tato varianta pouze optimalizuje stávající pracovní postup nákupem nových výrobních strojů, odstraněním operace broušení a změnami dispozice strojů.

### 3.3.1 Pracovní cyklus

Jedinou změnou pracovního cyklu oproti stávajícímu stavu je odstranění operace broušení. Obrábění hřídelí bez broušení je již v závodě úspěšně zaváděna u malých osových výšek, na obrázku číslo 15 je vidět CNC soustruh KOVOSVIT MAS SP430 Y L2, který je schopný obrábět na drsnost  $R_z$  2  $\mu\text{m}$ .



Obr. 15 Obráběcí centrum KOVOSVIT MAS SP430 Y L2.

### 3.3.2 Kapacitní výpočet

Tab. 4 Výpočet počtu strojů varianta B.

	AH100	AH112	AH132 DO	AH160 DO	AH180-200 DO
Kusů celkem	139938	115576	157516	95690	4548
Takt - katalogové [min]	1,51	1,54	1,84	2,54	3,14
Takt - abnormality [min]	1,51	1,54	1,84	2,54	3,14
Katalogové [%]	100%	100%	100%	85%	85%
Abnormality [%]	0%	0%	0%	15%	15%
Kusy - katalogové	139938	115576	157516	81337	38661
Kusy - abnormality	0	0	0	14354	6822
Seřízení [min/směna]	45	45	45	45	45
Celkový čas [min]	366638	309745	502475	321471	223708
Přirážka k seřízení [%]	30	30	30	30	30
Max kapacita [h]	34665	28630	39020	102513	48726
Délka procesu [h]	6111	5126	8375	5358	3728
<b>Strojů</b>	<b>0,83</b>	<b>1,7</b>	<b>2,63</b>	<b>1,07</b>	<b>0,82</b>
<b>Směn</b>	<b>2,9</b>	<b>3,18</b>	<b>5,16</b>	<b>3,52</b>	<b>2,51</b>
<b>Strojů celkem</b>	<b>5,16</b>			<b>1,89</b>	
<b>Strojů ke koupi</b>	<b>6</b>			<b>2</b>	

Směn celkem 12,11	Směn celkem 5,6
Maximální kapacita 565 691ks	Maximální kapacita 159 484 ks
Potřebná kapacita 486 777 ks	Potřebná kapacita 163 997 ks
Využitá kapacita 86,04%	Využitá kapacita 102,82%

U skupiny hřídelí AH160-200 jsem vypočítal využitou kapacitu větší než 100%, nicméně nebudu navyšovat počet strojů ke koupi. V případě potřeby je možné využít volné kapacity osové výšky AH100-132

### 3.3.3 Výhody

- Odpadá nutnost operace broušení, nově pořízený soustruh je schopen obráběním dosáhnout požadované drsnosti povrchu  $R_z 4 \mu\text{m}$ .
- Výše investice není tak vysoká jako ve variantě A.

### 3.3.4 Nevýhody

- Jde pouze o dílčí zlepšení nevyhovujícího procesu výroby.
- Stroje budou vybaveny automatickým měřicím zařízením, ale korekce opotřebení nástroje bude nutné zadávat ručně.
- Časově i finančně náročné zavádění nových programů – každé nové provedení je nutné ověřit technologem, při ověřování programů vznikají zmetky, programy se do stroje složitě ukládají a poté obtížně editují.

## 4 FINANČNÍ ZHODNOCENÍ VARIANT

V této kapitole jsou finančně zhodnoceny dvě navržené varianty. Ve společnosti Siemens se o finanční zpracování investice stará oddělení Controlling. Vyhodnocení návratnosti probíhá na základě výpočtu v nástroji Capex Card.

### 4.1 Varianta A

#### 4.1.1 Výše investice

Tabulka níže uvádí výši investice podle osových výšek na základě kapacitních výpočtů. Částka investice zahrnuje také odhadované náklady na zavedení výroby.

Tab. 5 Celková investice – varianta A.

Investice - varianta A [mil. Kč]	
AH100	33,2
AH112	30,2
AH132	55,4
AH160-200	50,4
<b>Celkem</b>	<b>169,3</b>

#### 4.1.2 Vyčíslení úspor

V této variantě se nám podaří spojit 4 pracoviště do jediného. Díky tomu dochází k významné úspoře zejména ve mzdových nákladech. Celkovou úsporu uvádí tabulka číslo 6.

Tab. 6 Porovnání mzdových nákladů – varianta A.

Porovnání mzdových nákladů [Kč]			
	Stávající stav	Varianta A	Úspora
AH100	5 067 286	2 553 010	2 514 276
AH112	3 859 268	2 156 844	1 702 424
AH132	5 753 890	1 749 443	4 004 447
AH160-200	kooperace	-	-
<b>Celkem</b>	<b>14 680 444</b>	<b>6 459 297</b>	<b>8 221 147</b>

V současné době se hřídele osových výšek AH160 – 200 nakupují u externích dodavatelů, což přináší další výdaje a snižuje pružnost výroby.

Přesunem výroby do mateřského závodu dosáhneme úspor uvedených v tabulce číslo 7.

Tab. 7 Zrušení kooperace – varianta A.

Úspora při převedení hřídelí z kooperace			
	Dodavatel [Kč]	Mohelnice [Kč]	Úspora [Kč]
AH100	0	-	-
AH112	0	-	-
AH132	0	-	-
AH160	19 492 864	7 507 844	11 985 020
AH180	15 762 361	7 986 206	7 776 155
AH200	19 328 630	8 415 543	10 913 087
Celkem	54 583 855	23 909 593	30 674 262

V tabulce číslo 7 vidíme vyčíslení úspor v režijních nákladech. Je zjevná vysoká úspora za údržbu a technologicky nutné ztráty, které jsou u současných strojů již nevyhovující. Přesnou úsporu lze vyhodnotit v prvním roce zkušebního provozu.

Tab. 8 Režijní náklady – varianta A.

Úspora - režijní náklady [Kč]	
Údržba	6 061 120 Kč
Brusné kotouče	1 379 714 Kč
TTNZ	2 418 154 Kč
DNC	106 260 Kč
Objekt 56 - nájem	1 127 000 Kč
Kapaliny	285 552 Kč
Nástroje	1 000 000 Kč
Seřízení	1 000 000 Kč
Poruchy	200 000 Kč
Ochranné pomůcky	233 387 Kč
Energie	823 031 Kč
Manipulace	864 600 Kč
Objekt 56 - mzdy	4 245 217 Kč
Celkem	19 744 035 Kč

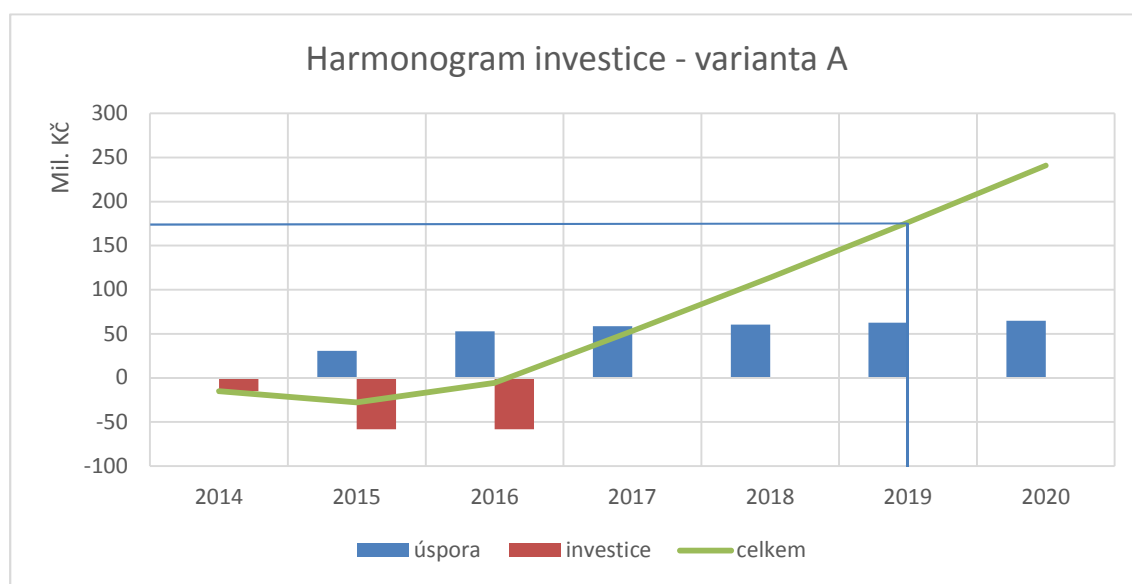
Celkový úhrn ročních úspor ve variantě A činí dle propočtů 58 639 444 Kč.

#### 4.1.3 Harmonogram investice

V první fázi investice dojde ke stažení hřídelí vyráběných v kooperaci do mateřského závodu. Poté bude následovat postupné nahrazení stávajících

pracovišť novou technologií. V následujících letech bude docházet k růstu roční úspory zefektivňováním nově zavedené výroby. Celý harmonogram modernizace výroby je zanesen do interního nástroje Capex Card, který dle interních předpisů vypočítá návratnost investice, která je zobrazena v grafu číslo 1.

Graf 1 Harmonogram investice – varianta A



Výpočítaná návratnost varianty 1 je 58 měsíců.

## 4.2 Varianta B

### 4.2.1 Výše investice

Tabulka níže uvádí odhadovanou výši investice rozdělenou dle osových výšek na základě stanoveného počtu strojů.

Tab. 9 Celková investice – varianta B.

Investice - varianta B [mil. Kč]	
AH100	21,1
AH112	18,9
AH132	42,6
AH160-200	37,2
Celkem	119,8

#### 4.2.2 Vyčíslení úspor

Stejně jako u varianty A je přesune současná výroba v kooperaci do mateřského závodu. Další úspora je ve zrušeném pracovišti broušení hřídelí a zefektivnění výroby na nově pořízených obráběcích centrech.

Tab. 10 Porovnání mzdových nákladů – varianta B.

Porovnání mzdových nákladů [Kč]			
	Stávající stav	Varianta B	Úspora
AH100	5 067 286	4 168 697	898 589
AH112	3 859 268	3 198 475	660 793
AH132	5 753 890	4 678 324	1 075 566
AH160-200	kooperace	-	-
Celkem	14 680 444	12 045 496	2 634 948

V současnosti se hřídele osových výšek AH160 – 200 nakupují u dodavatelů, což přináší vyšší výdaje, snižuje pružnost výroby a prodlužuje celkovou dodací lhůtu. Přesunem výroby do mateřského závodu dosáhneme úspor uvedených v tabulce číslo 11.

Tab. 11 Zrušení kooperace – varianta B.

Úspora při převedení hřídelí z kooperace [Kč]			
	Dodavatel	Mohelnice	Úspora
AH100	0	-	-
AH112	0	-	-
AH132	0	-	-
AH160	19 492 864	8 483 987	9 008 877
AH180	15 762 361	9 875 875	5 886 486
AH200	19 328 630	10 543 987	8 784 643
Celkem	54 583 855	27 903 849	26 680 006

V tabulce číslo 12 je uveden součet úspor v režijních nákladech. Je patrná vysoká úspora za údržbu a technologicky nutné ztráty, které jsou u současných strojů již nevyhovující. Přesnou úsporu lze vyhodnotit v prvním roce zkušebního provozu.

Tab. 12 Režijní náklady – varianta B.

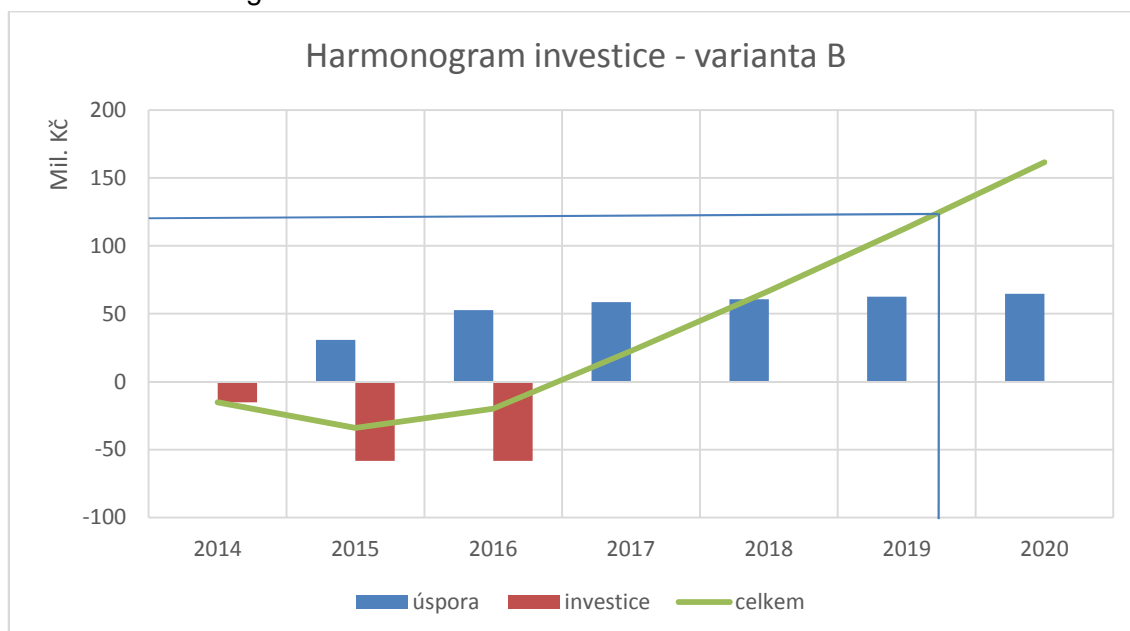
Úspora - režijní náklady [Kč]	
Údržba	5 187 647 Kč
Brusné kotouče	1 379 714 Kč
TTNZ	1 987 233 Kč
DNC	106 260 Kč
Výrobní plocha	1 082 000 Kč
Kapaliny	285 552 Kč
Nástroje	1 000 000 Kč
Seřízení	700 000 Kč
Poruchy	200 000 Kč
Ochranné pomůcky	183 395 Kč
Energie	683 987 Kč
Manipulace	241 600 Kč
<b>Celkem</b>	<b>13 037 388 Kč</b>

Součet ročních úspor ve variantě B činí dle propočtů 42 352 342 Kč.

#### 4.2.3 Harmonogram investice

V první fázi investice dojde ke stažení hřídelí vyráběných v kooperaci do mateřského závodu stejně jako ve variantě A. Poté bude následovat nahrazení stávajících pracovišť novou technologií. Harmonogram investice je zobrazen v grafu číslo 3 a stejně jako u varianty A je vypočítán v nástroji Capex Card.

Graf 3 Harmonogram investice – varianta B



Doba návratnosti investice ve variantě B je vypočítána na 64 měsíců, což můžeme vidět na grafu číslo 3.



## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce na téma Návrh pracoviště obrábění hřídelí elektromotorů bylo zejména zhodnotit stávající proces výroby hřídelí elektromotorů v o. z. Elektromotory Mohelnice a na základě této analýzy navrhnout nové, moderní pracoviště.

Po provedené analýze stávajícího procesu výroby byla zhodnoceny hlavní úskalí a na základě získaných informací navrženy dvě varianty nového pracoviště.

Na základě technického posouzení a zejména ekonomické rozvahy doporučuji firmě Siemens zvolit variantu A. Ačkoliv se jedná v počátku o nákladnější investici, vypočítal jsem dobu návratnosti 58 měsíců, což je méně než u varianty B, která uvažuje pouze dílčí změny stávajícího procesu. Hlavním prostředkem k takto vysokým úsporám je zejména kompletní přepracování současné výroby, kde jsou čtyři současné pracoviště sloučena do jednoho stroje, vertikálního obráběcího centra EMAG VTC 250 DUO. Toto sloučení přináší úspory zejména v oblastech manipulace a mzdových nákladů. Další oblastí vysokých úspor je oblast technologicky nutných ztrát, které se díky automatickému měřicímu zařízení se zpětnou vazbou sníží na minimum.

Další příležitost pro zlepšení procesu spatřuji v práci THP, protože nové pracoviště bude mít značně usnadněnou správu pracovišť a zavádění nových provedení do výroby. Technolog se poté bude moci zaměřit na zefektivnění produkce v duchu Lean Manufacturing a také pomocí ukazatele OEE.

Na základě zmíněných důvodů tedy doporučuji realizaci modernizace ve variantě A.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] HLAVENKA, Bohumil. *Projektování výrobních systémů - technologické projekty I*. Vyd. 3. Brno: PC-DIR Real, 1999, 197 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1472-3.

[2] RUMÍŠEK, Pavel. *Technologické projekty*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1991, 185 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0385-3.

[3] ŠAJDLEROVÁ, I. *Organizace a řízení výroby* [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z:  
[http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Organizace\\_a\\_rizeni\\_vyroby.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Organizace_a_rizeni_vyroby.pdf)

[4] ŠŇUPÁREK, P. MAREK, M. Technická dokumentace [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupné z:  
[http://fei1.vsb.cz/kat410/www453/soubory/.../005\\_Drsnost%20povrchu.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat410/www453/soubory/.../005_Drsnost%20povrchu.pdf)

[5] TKOTZ, Klaus. *Příručka pro elektrotechnika*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles, 2002, 561 s. ISBN 80-867-0600-1.

[6] Asynchronní motor Siemens [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z:  
<http://www.mmspektrum.com/clanek/novinky-na-veletrhu-amper-2013.html>

[7] Stanovení drsnosti [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z:  
[www.sosblansko.cz/suplovaci\\_rozvrh/stanoveni\\_drsnosti.doc](http://www.sosblansko.cz/suplovaci_rozvrh/stanoveni_drsnosti.doc)

[8] EMAG Holding GmbH [online]. [cit. 2014-02-10]. Dostupné z:  
[http://www.pge.ro/sites/default/files/pdf/EMAG/rectificare/EMAG\\_VTC\\_202-1-09-2007\\_GB.pdf](http://www.pge.ro/sites/default/files/pdf/EMAG/rectificare/EMAG_VTC_202-1-09-2007_GB.pdf)

## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Zkratka/symbol	Jednotka	
AH	[mm]	Osová výška
CNC	[-]	Computer Numerical Control
Rz	[ $\mu\text{m}$ ]	Parametr drsnosti
Yp	[ $\mu\text{m}$ ]	Výška největšího výstupku profilu
Yv	[ $\mu\text{m}$ ]	Výška nejnižší prohlubně profilu
TTNZ	[-]	Technologicky nutné ztráty
THP	[-]	Technicko-hospodářský pracovník
R <sub>mr</sub>	[%]	Nosný podíl

